

На правах рукописи

ГАЛИАСКАРОВА ГУЗЕЛИЯ РАФКАТОВНА

**ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ВЫБРОСОВ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПЛАВУЧЕСТИ ВДОЛЬ ЗЕМНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

01.02.05. Механика жидкости, газа и плазмы

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена на кафедре прикладной математики и механики
Стерлитамакского государственного педагогического института.

Научный руководитель: член-корр. АН РБ, доктор физико-математических наук, профессор
В.Ш. Шагалов

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
А.Л. Галиев

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор И.Л. Хабибуллин;
кандидат физико-математических наук
К.И. Михайленко

Ведущая организация: Уфимский государственный авиационный
технический университет

Защита состоится «20» декабря 2002 г. в 14 час. на
заседании диссертационного совета Д 212.013.09 в Башкирском
государственном университете по адресу: 450074, г. Уфа, ул. Фрунзе, 32,
физико-математический корпус, ауд.216.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Башкирского
государственного университета по адресу. 450074, г. Уфа, ул. Фрунзе, 32,

Автореферат разослан " 20 декабря 2002 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, Л.А. Ковалева
профессор



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В работе рассмотрена динамика накопления и распространения тяжелых по сравнению с атмосферным воздухом, газовых смесей, под действием сил плавучести вдоль земной поверхности. Построены автомодельные и приближенные аналитические решения, соответствующие различным линейным и точечным источникам выбросов с отрицательной плавучестью. Проведено численное моделирование процесса разрушения столба смога в плоском и осесимметричном случаях.

Актуальность темы. В связи с усиливающимся влиянием человека на окружающую среду проблема описания накопления и распространения выбросов с отрицательной плавучестью в атмосфере является особенно актуальной для городов с развитой химической промышленностью. На формирование уровня загрязнения воздушного бассейна таких городов оказывают влияние не только качественный и количественный состав, интенсивность выбросов, но и метеорологические условия. Наиболее благоприятным условием для накопления таких выбросов является безветренная погода, вследствие чего создается напряженная экологическая обстановка. Для разработки эффективной стратегии решения задач промышленной безопасности необходимо проведение исследований, которые должны включать в себя создание современных методов расчета нагрузки, создаваемой различными выбросами на окружающую среду. В связи с этим необходимо создание математических моделей процессов накопления примесей «близки поверхности земли».

Цель работы. Изучение динамики распространения выбросов отрицательной плавучести в атмосфере на основе математической модели, построенной аналогично теории «мелкой воды». Выявление качественных и количественных закономерностей данного процесса, а также анализ факторов, оказывающих влияние на процессы накопления и распространения смога.

Достоверность. Достоверность результатов диссертации основана на использовании фундаментальных уравнений механики сплошных сред и обусловлена согласованием полученных зависимостей для различных методов подсчета, проведением тестовых расчетов, сравнением численных и аналитических решений, согласованностью с решениями других авторов в некоторых частных случаях.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что разработанная модель может быть использована для оценки риска, связанных с авариями на предприятиях химической промышленности.

Результаты исследования расширяют и углубляют теоретические знания о процессе распространения выбросов с отрицательной плавучестью в атмосфере и могут быть использованы на практике для прогнозирования и оценки влияния деятельности различных предприятий на экологическую обстановку в регионе.

Научная новизна. Система уравнений, описывающая процесс накопления и распространения таких выбросов и полученная аналогично теории «мелкой воды», в случае безынерционного растекания сведена к одному нелинейному уравнению. На основе данных уравнений построены автомодельные решения одномерных задач (плоская и радиально-симметричная), позволяющие оценить распределения высоты смога с учетом сопротивления со стороны земной поверхности, а также наземных объектов, распределенных на поверхности земли. Найдены аналитические приближенные решения при различных начальных и граничных условиях для высоты и передней границы смога. На основе этих аналитических решений проанализировано влияние плотности выбросов, мощности источника, а также типа местности на динамику растекания выбросов отрицательной плавучести.

Проведено численное моделирование плоско - и радиально одномерных задач о гравитационном растекании столба смога. Приведены оценки для критических параметров, при которых инерция оказывает существенное влияние на процесс растекания смога. Проанализировано влияние массообмена смога с окружающим атмосферным воздухом на процессы его накопления и распространения.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались на следующих конференциях и научных школах:

- Школа-семинар по механике многофазных систем под руководством академика РАН Р.И. Нигматулина, Стерлитамак, 13 марта 1999 г.
- Международная научно-техническая конференция "Перспективы и реализация региональных программ перехода к устойчивому развитию для промышленных регионов России", Стерлитамак, 13-15 мая 1999 г.
- Международная научная конференция «Химия и химическая технология- настоящее и будущее», Стерлитамак, 22-25 сентября 1999 г.
- Школа-семинар по механике многофазных систем под руководством академика АНА А.Х. Мирзаджанзаде, Уфа, 15 октября 1999 г.
- Всероссийская научная конференция «Физика конденсированного состояния», Уфа, 25-26 ноября 1999 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
ИМ. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО
КАЗАНСКОГО ГОС. УНИВЕРСИТЕТА

- Региональная конференция молодых ученых, Уфа, БГУ, 15 мая 2000 г.
- Международная научная конференция ICMS-2000, Уфа, 15-17 июня 2000г.
- Третья Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)», Москва, МГУ, 22-24 мая 2001г.
- Международная конференция «Моделирование, базы данных и информационные системы для атмосферных наук», Иркутск, 25-29 июня 2001г.
- VIII Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике, Пермь, 23-29 августа 2001 г.
- XVI сессия Международной Школы по моделям механики сплошной среды, Казань, 27июня-3июля 2002г.
- Международная конференция «Enviromise», Томск ,6-12 июля 2002г.

Кроме того, результаты работы докладывались на научном семинаре кафедры ПММ СГПИ под руководством члена- корреспондента АН РБ В.Ш. Шагалова.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 10 работах, список которых приведен в конце автореферата.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 109 страниц, в том числе 28 рисунков. Список литературы состоит из 90 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, рассмотренной в диссертации, сформулирована цель, научная новизна, кратко изложена структура диссертации.

В первой главе приводится современное состояние вопроса по данной проблеме, основные уравнения и допущения, описывающие процесс растекания выбросов с отрицательной плавучестью.

В **п.1.1** выполнен обзор исследований, посвященных вопросам распространения различных выбросов. Обсуждаются исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, в числе которых А.Е. Алоян, С.С. Григорян, В.В. Остапенко, М.Е. Берлянд, О.В. Добрачев, Г.И. Марчук, R.E. Britter , J.E. Simpson и др. посвященные распространению газовых примесей различного состава в атмосфере, различным гравитационным течениям (течения в мелководных эстуариях), исследованиям оползневых масс.

В п. 1.2 приведена основная система уравнений, описывающая процесс распространения и накопления смога в атмосфере с учетом следующих предположений: выбрасываемое вещество химически стабильно; скорость ветра равна нулю; теплообмен между смогом и окружающей средой отсутствует; трение между поверхностью земли и потоком определяется с учетом скорости приземного потока и степени шероховатости местности известными полуэмпирическими соотношениями. С учетом выше изложенных допущений основная система уравнений и соотношений имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{1}{r^j} \frac{\partial}{\partial r} (r^j h u \rho) = \rho_a I \quad j=0; 1$$

$$\frac{\partial(\rho h u)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} (h u^2 \rho) = -(\rho - \rho_a) g h \frac{\partial h}{\partial r} - \rho(\tau_A + \tau_F + \tau_G)$$

$$\rho = \frac{\rho_a}{1 + \left(\frac{R_g}{R_a} - 1 \right) k_g}, \quad I = \alpha u$$

здесь h , u - высота и скорость смога; ρ и ρ_a - плотности смога и атмосферного воздуха; I - интенсивность массообмена, τ_G , τ_A , τ_F - силы сопротивления, отнесенные к столбику смога с единичным основанием со стороны земной поверхности, атмосферного воздуха и наземных объектов, распределенных на поверхности земли; R_g , R_a - приведенные газовые постоянные, k_g - массовая концентрация смога, α - коэффициент массообмена, g - ускорение силы тяжести.

В п. 1.3 приведены соотношения, описывающие силы сопротивления для различного типа местности.

При растекании выбросов с отрицательной плавучестью (смога) возможны две ситуации. Первая может возникнуть, когда высота смога ниже уровня наземных объектов. В этой ситуации преобладает сила сопротивления τ_F . Во втором случае, когда высота смога намного больше наземных объектов, преобладающее влияние оказывает сила τ_G .

Для задания силы сопротивления со стороны наземных объектов $f = \tau_F / h$ приняты два предельных случая. Первый - густая флора, когда будет реализовываться достаточно малая скорость движения и поэтому можно принять линейный закон сопротивления (по аналогии с теорией

подземной гидравлики). В этом случае для приведенной силы сопротивления принято соотношение $f = u/t_u$. В другом предельном случае - редкая флора используется квадратичный закон сопротивления: $f = u^2/r_u$, где r_u , t_u - некоторые эмпирические параметры.

При задании силы сопротивления со стороны земной поверхности ($t_g \sim \lambda u^2$) рассмотрены две схемы. По первой схеме коэффициент шероховатости Земли λ принимается постоянным. Во втором случае, для силы сопротивления принимается закон Маннинга, согласно которому $\lambda = (h_* / h)^{1/3}$, где h_* - эффективный параметр шероховатости земли.

Во второй главе изучено растекание выбросов отрицательной плавучести в безветренную погоду из точечного источника. Рассмотрены некоторые особенности накопления смога с учетом флоры, например, 8 лесу. Для двух предельных ситуаций густой и редкой флоры, полагая, что силы сопротивления от скорости потока зависят линейно и по квадратичному закону, система уравнений движения сведена к одному нелинейному уравнению. Построены автомодельные, а также приближенные аналитические решения, соответствующие различным вариантам линейных и точечных источников выбросов. Исследована также динамика накопления смога при отсутствии флоры, когда наибольшее влияние оказывает сила сопротивления со стороны земной поверхности. Для данной ситуации построены приближенные аналитические и автомодельные решения.

В п.2.1 определены критические условия, разделяющие начальную стадию, когда закономерности распространения смога определяются инерционными эффектами с последующим этапом, когда инерция незначительна. Анализ показал, что инерционные эффекты обычно существенны в начальной стадии, когда критические времена t_c и расстояния r_c удовлетворяют условиям: а) распространение смога в лесу: $t_c : t_w$, $r_c \sim u$, $t_w/2$ ($u = \sqrt{g'h_*}$) - при линейном законе сопротивления (густая флора); $t_c \sim r_c/u$, $r_c \sim r_w/2$ - при квадратичном законе сопротивления (редкая флора); б) распространение смога с учетом сопротивления со стороны земной поверхности: $t_c \sim h_*/\lambda u$, $r_c \sim h_*/2\lambda$ - ($\lambda = const$); $t_c \sim h_*^{4/3}/\lambda^{1/3} u$, $r_c \sim h_*^{4/3}/2\lambda^{1/3}$ - (закон Маннинга).

По-видимому, при растекании смога наибольший интерес представляет случай, когда действие силы тяжести уравнивает силу

сопротивления (силы инерции несущественны). Для каждой ситуации при временах $t \gg t_*$ и расстояниях $r \gg r_*$, система уравнений движения приведена к одному нелинейному уравнению:

а) для двух предельных ситуаций распространения смога в лесу: (густая и редкая флора)

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{g'_{(1)}}{r^j} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^j h \frac{\partial h}{\partial x} \right), \quad u = -g'_{(1)} \frac{\partial h}{\partial r} \quad \left(g'_{(1)} = g' t_{(u)}, \quad g' = g \frac{\rho - \rho_a}{\rho} \right)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\sqrt{g'_{(2)}}}{r^j} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^j h \sqrt{\frac{\partial h}{\partial r}} \right), \quad u = \sqrt{-g'_{(2)}} \frac{\partial h}{\partial r} \quad \left(g'_{(2)} = g' t_{(u)} \right).$$

б) для двух схем задания силы сопротивления со стороны земной поверхности (коэффициент шероховатости $\lambda = const$ и по закону Маннинга):

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{r^j} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^j h \sqrt{-g'_{(\lambda)} h} \frac{\partial h}{\partial r} \right), \quad u = \sqrt{-g'_{(\lambda)} h} \frac{\partial h}{\partial r} \quad \left(g'_{(\lambda)} = \frac{g'}{\lambda} \right)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{r^j} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^j h \sqrt{-\tilde{g}'_{(\lambda)} h^{\frac{4}{3}}} \frac{\partial h}{\partial r} \right), \quad u = \sqrt{-\tilde{g}'_{(\lambda)} h^{\frac{4}{3}}} \frac{\partial h}{\partial r} \quad \left(\tilde{g}'_{(\lambda)} = g' / (h_{**})^{\frac{1}{3}} \right).$$

В п.2.2 проведено исследование плоско-одномерных задач о растекании смога из линейного источника. В п.2.2.1 рассмотрена задача в следующей постановке: в начальный момент времени смог отсутствует, а в некоторый момент начинает функционировать источник, причем высота смога на границе поддерживается постоянной. Для данной задачи найдены автомодельные и приближенные аналитические решения методом последовательной смены стационарных состояний. Сравнивая эти зависимости с автомодельными решениями, можно получить дополнительные сведения для тестирования результатов численных решений. Следует отметить, что полученные подобным образом решения играют также важную роль в плане обобщения результатов исследований. На рис.1 иллюстрируется распределение высот для двух описанных выше ситуаций. Из представленных графиков видно, что разница между аналитическими и автомодельными решениями не превышает 20%.

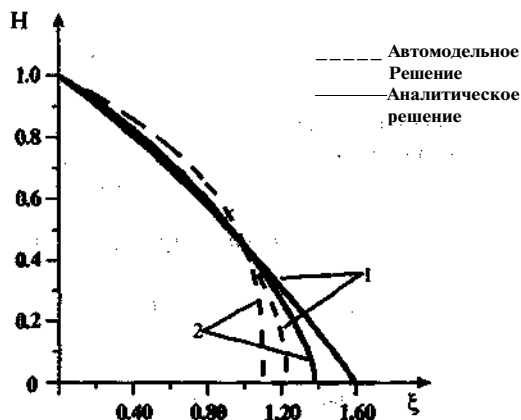


Рис.1

Профиль безразмерной толщины смога в автомодельных координатах для густой (линии 1) и редкой (линии 2).

В п.2.2.2 рассмотрена плоскоодномерная задача о растекании смога, когда мощность источника выбросов поддерживается постоянной. Для данной задачи найдены аналитические приближенные решения.

В разделе 2.3 рассматриваются задачи о распространении \ накоплении смога в радиальной области. В п.2.3.1 представлены автомодельные и аналитические решения для случая растекания смога в лес) с различными начальными условиями. В частности, из найденных приближенных аналитических решений следует, что если источник функционирует с постоянной мощностью ($Q = const$) достаточно долгое время, то между распространением смога в густом лесу (линейный закон сопротивления) и редком (квадратичный закон сопротивления) имеется принципиальная разница. В случае линейного закона сопротивления для любой фиксированной координаты r толщина смога растет неограниченно ($h \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$). В случае же квадратичного закона при $t \rightarrow \infty$ для каждого значения r имеется предельная высота, определяемая из выражения

$$h^{(m)} = \sqrt[3]{\frac{3Q^2}{4\pi^2 g_{(2)}^2 r}},$$

т.е. сколько бы не функционировал источник, высота смога будет не больше чем значение $h^{(m)}$.

В п.2.3.2 рассматривается растекание смога при наличии сопротивления со стороны земной поверхности. Для двух случаев задания сил сопротивления найдены автомодельные и аналитические решения, когда

мощность источника изменяется со временем $Q = qt^{1/3}$. На рис.2 приведены зависимости безразмерной высоты смога $H = h/h_{(2)}^0$ ($h_{(2)}^0 = (q^3/g_{(2)}^2)^{1/5}$)

от автомодельной координаты, $\xi = r/(n_{(2)} t)^{2/3}$, ($n_{(2)} = (q_{(2)}^3 q)^{3/10}$). Для представленных решений $\xi \rightarrow 0$ высота смога стремится к бесконечности. Такая сингулярность связана с тем, что в постановке задачи не учтены линейные размеры источника смога.

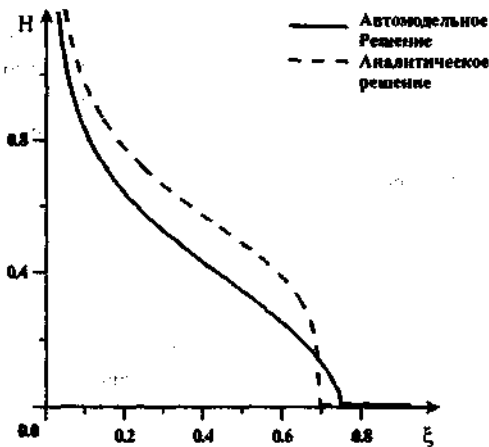


Рис.2

Распределение безразмерной высоты смога в случае учета сопротивления со стороны земной поверхности. ($\lambda = \text{const}$).

В п.2.4 приведены результаты расчетов и их обсуждение. С точки зрения анализа реальных ситуаций наибольший интерес представляют решения, полученные для точечного источника с постоянной мощностью выброса. На рис.3 приведены кривые распределения смога в момент времени $t = 1ч.$, а также зависимости координаты переднего фронта смога от времени для случаев, когда отсутствует флора (пунктирная и штриховая линии) и при наличии флоры (сплошная линия). Для мощности источника, плотности смога и атмосферы приняты значения: $Q = 10^6 M^3/C$, $\rho = 1.315 \text{ кг}/M^3$, $\rho_a = 1,3 \text{ кг}/M^3$ ($g' = 0.1 \text{ м}/с^2$). Графики, соответствующие отсутствию флоры, получены для двух схем учета силы сопротивления со стороны земной поверхности. В частности, пунктирные линии построены, когда коэффициент шероховатости земли принимается постоянным ($\lambda = 2.5 \cdot 10^{-3}$), штриховые - для силы сопротивления со стороны земной поверхности задается закон Маннинга. При этом для эффективного параметра h_* принято значение, полученное на основе табличных данных для поймы рек. Сплошные линии, для случая наличия редкой флоры, получены на основе аналитического решения, принимая для эмпирического параметра, входящего в закон сопротивления, значение $g_u = 20 \text{ м}$. Это значение для g_u соответствует густоте леса $n = 0.25 \text{ м}^{-2}$ (среднее расстояние между деревьями $L = 2 \text{ м}$) с характерным диаметром деревьев $d = 0.2 \text{ м}$. Как следует из графиков, наличие флоры приводит к существенному замедлению распространения смога. Для представленного примера разница зоны, охваченной смогом, уменьшилась примерно в два раза. Но при наличии флоры толщина смога возрастает в несколько раз. Кроме этого, при отсутствии флоры две схемы учета силы сопротивления со стороны поверхности земли дают достаточно близкие результаты. Для представленных графиков, относительная разница координаты $r = l(t)$ границ смога по этим двум схемам составляет не более 10%.

По результатам полученных решений также выявлено, что увеличение плотности приведет к росту темпа распространения смога и снижению его толщины, увеличение же мощности источника приводит к увеличению радиуса границы смога и повышению его характерной толщины. В частности, десятикратный рост мощности источника смога приводит к примерно двукратному увеличению радиуса границы смога и более трехкратному повышению его толщины.

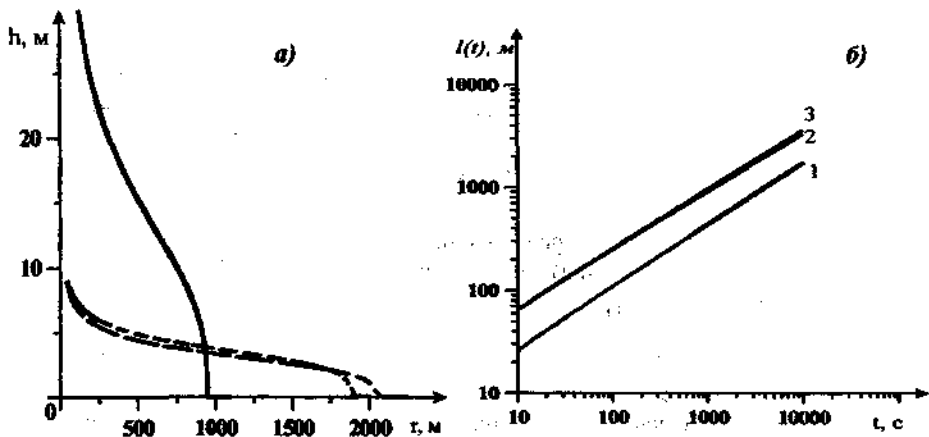


Рис. 3

Влияние флоры на динамику распространений смога: а — профиль смога в фиксированный момент времени ($t=1$ час); б) — законы движения передней границы смога. Сплошные линии соответствуют наличию флоры, пунктирные и штриховые линии — отсутствию флоры по двум схемам учета силы сопротивления со стороны Земли.

В третьей главе исследована динамика мгновенных выбросов отрицательной плавучести в атмосфере. Рассмотрены плоская и осесимметричная задачи о разрушении столба смога. Проведен анализ влияния процесса массообмена с окружающим атмосферным воздухом. Исследование гравитационного растекания смога проводилось при нулевой скорости ветра.

В п.3.1 рассмотрены плоско-одномерная и радиальная задачи о растекании столба смога без учета взаимодействия с окружающей атмосферой. В п.3.2 проведено численное исследование данной задачи. В п.3.3 представлено сравнение результатов решения данной задачи в полной постановке и в случае безынерционного растекания при временах превышающих критические.

В рамках плоской и радиальной постановок задач п.3.4 проведено численное моделирование растекания столба смога с учетом его массообмена с окружающим воздухом. При растекании смога происходит его интенсивное перемешивание, обусловленное неровностями подстилающей поверхности и наличием препятствий. При построении модели принималось, что происходит мгновенное перемешивание вещества смога по всей толщине

слоя смога. В п.3.5 представлены результаты численного моделирования и их анализ. На рис.4 представлены графики, иллюстрирующие влияние массообмена смога на динамику его растекания.

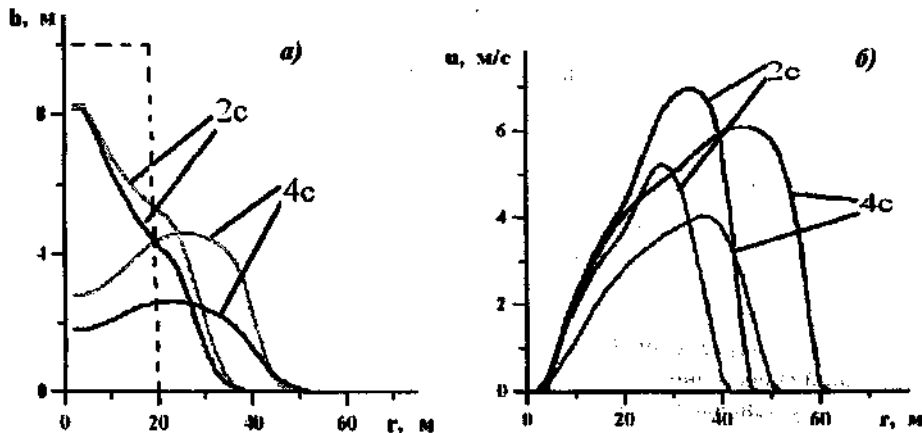


Рис.4

а) профили смога на различные моменты времени, для случая распространения смога в лесу (квадратичный закон сопротивления) б) соответствующие им профили скоростей. Темные линии без учета массообмена, светлые с учетом массообмена. Пунктирной линией указан первоначальный профиль высоты.

Видно, что при учете массообмена у профиля смога рис.4а образуется выступающая передняя часть, высота которой примерно в 2 раза превышает толщину последующего участка, что согласуется с экспериментальными данными представленными С.Д. Шмидтом. Наибольшее перемешивание происходит в передней части облака тяжелого газа, так как интенсивность массообмена пропорциональна скорости движения смога, вследствие чего и происходит увеличение передней части облака. Это связано с тем, что наибольшей скоростью обладает передний фронт (рис.4б).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе теоретической модели растекания выбросов отрицательной плавучести, построенной аналогично теории «мелкой воды», найдены критические условия, разделяющие начальную стадию, когда

закономерности процесса определяются инерционными эффектами, с последующим этапом, когда инерция несущественна.

В случае безынерционного растекания смога, когда динамика процесса определяется силами сопротивления и плавучести, система уравнений, описывающая процесс распространения выбросов при наличии густой и редкой флоры и при ее отсутствии, сведена к одному нелинейному уравнению вида уравнения теплопроводности.

2. На основе полученных уравнений найдены автомодельные решения в частности:

а) для плоскоодномерной задачи, когда высота смога на левой границе поддерживается постоянной;

б) для радиальноодномерной задачи: в случае густой флоры, когда мощность источника поддерживается постоянной; в случае редкой флоры и при ее отсутствии, когда мощность источника изменяется со временем по степенному закону.

3. Получены приближенные аналитические решения для различных ситуаций функционирования точечного источника смога. На основе данных решений установлено что:

а) В случае густой флоры (линейный закон сопротивления) для любой точки с фиксированной координатой r толщина смога h растет с течением времени неограниченно ($A \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$), в случае же редкой флоры (квадратичный закон) при $t \rightarrow \infty$ для каждого значения r имеется предельная высота, т.е. сколько бы не функционировал источник, высота смога будет не больше чем значение $h^{(m)}$.

б) При преимущественном действии силы сопротивления со стороны земной поверхности (флора отсутствует) для любой точки с координатой r верхняя граница смога с течением времени поднимется не выше максимальной $h_1^{(m)}$

в) На процесс растекания смога преобладающее влияние оказывает сила сопротивления флоры. Наличие флоры приводит к существенному замедлению распространения смога, по сравнению с ситуацией распространения смога с учетом силы сопротивления со стороны земной поверхности.

4. Анализ результатов численного моделирования процесса растекания столба смога с учетом его массообмена с окружающим атмосферным воздухом показал что:

Наличие массообмена с окружающим воздухом приводит к уменьшению средней плотности смеси тяжелого газа, за счет перемешивания

с окружающим воздухом, вследствие чего уменьшается скорость движения смога. На начальном этапе высота передней части смога увеличивается примерно в 2 раза за счет притока воздуха.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Галиаскарова Г.Р. Особенности распространения смога в безветренную погоду // Сб. трудов региональной конференции «Резонансные и нелинейные явления в конденсированных средах».- Уфа, 1999, Т.2 - С.56-57.
2. Шагапов В.Ш., Галиаскарова Г.Р. Динамика накопления смога в штиль //Сб. науч. тр. «Дифференциальные уравнения и их приложения в физике»- Стерлитамак, 1999- С.235-238.
3. Галиаскарова Г.Р. Задача о разрушении столба смога //Сб. тезисов ВНКСФ-7-Санкт - Петербург, 2001 -С.55-57.
4. Шагапов В.Ш., Галиаскарова Г.Р. Численное моделирование процесса накопления и распространения тяжелых выбросов в атмосфере //Сб. тезисов конференции «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». - Москва, МГУ, 2001- С.52-53.
5. Шагапов В.Ш., Галиаскарова Г.Р. К теории накопления выбросов отрицательной плавучести //Сб. тезисов межд. научной конференции «Моделирование, базы данных и информационные системы для атмосферных наук» - Иркутск, 2001- С.28
6. Шагалов В.Ш., Галиаскарова Г.Р. Численное моделирование процесса накопления смога // Труды Стерлитамакского филиала АН РБ, сер. «Химия и химические технологии» - Стерлитамак, 2001 - С.324-327.
7. Галиаскарова Г.Р. Математическое моделирование процесса накопления тяжелых газов в атмосфере //Сб. тезисов VIII-Всероссийского съезда по теоретической и прикладной механике - Пермь, 2001 - С. 171
8. Шагапов В.Ш., Галиаскарова Г.Р. К теории накопления смога в штиль //Изн. АН. сер. Физика атмосферы и океана, 2002, Т.38, №1 -С.71-80.
9. Шагапов В.Ш., Галиаскарова Г.Р. О динамике накопления атмосферных выбросов отрицательной плавучести в безветренную погоду //Инженерно-физический журнал - 2002, Т. 75, №2 - С.22-27.
10. Галиаскарова Г.Р. Математическое моделирование растекания тяжелых газов с учетом массообмена с атмосферой.//Сб. тезисов межд. научной конференции «Enviromis-2002»- Томск, ИОА, 2002 -С. 61

Галиаскарова